ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА НАГРУЗКИ ПРИ РЕЗЕРВИРОВАНИИ СИЛОВЫХ КАНАЛОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЙ

***Лукина А.С.* [1], *Целищев И.С.* [2]**
Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
[1]департамент компьютерной инженерии,
[2]департамент электронной инженерии
МИЭМ НИУ ВШЭ

Аннотация

В работе рассматривается влияние изменения коэффициента нагрузки при отказе силовых каналов в магистрально-модульных преобразователях напряжения (далее ММПН) на значение их наработок. Данное исследование проводится в рамках разработки программы для оценки показателей безотказности ММПН с ротацией силовых каналов.

Введение

В условиях глобальной автоматизации все более актуальной становится задача повышения безотказности вычислительной техники [1]. Например, отказ системы электропитания информационной системы оборонного объекта влечет за собой серьезный материальный ущерб, а иногда может стать причиной катастрофы. Для повышения безотказности силовой электроники на практике наиболее часто применяется резервирование.

Разрабатываемая программная модель описывает смешанное резервирование силовых каналов с ротацией в ММПН. Под смешанным резервированием понимается резервирование вида «N+1+K» (без восстановления), где «N из (N+1)» - скользящее нагруженное резервирование, элементы которого составляют группу скользящее ненагруженное резервирование «(N+1) из K» [2].

В данной работе рассматривается способ учета изменения коэффициента нагрузки при отказе силовых каналов при имитационном моделировании ММПН [3, 4].

Интенсивность отказов

При оценке безотказности резервированной системы основным параметром является интенсивность отказов ее компонентов. Интенсивность отказов компонентов рассчитывается на основе интенсивности отказов комплектующих элементов [5]. Математические модели интенсивности отказов для большинства типов элементов (ЭРИ) имеют вид (1):

$$\lambda_Э = \lambda_Б \prod_{i=1}^{n} K_i, \qquad (1)$$

где $\lambda_Б$ – базовая интенсивность отказов типа (группы) ЭРИ, рассчитанная по результатам испытаний ЭРИ на безотказность, долговечность, ресурс; K_i - коэффициенты, учитывающие изменения эксплуатационной интенсивности отказов в зависимости от различных факторов; n - число учитываемых факторов [6].

Одним из факторов, влияющих на эксплуатационную интенсивность отказов ЭРИ, является величина электрической нагрузки, которая характеризуется коэффициентом нагрузки (Kнагр.) [6]. Очевидно, что при отказе силовых каналов происходит повышение их электрической нагрузки, и, следовательно $K_{нагр.}$ входящих в них ЭРИ, что в свою очередь ведет к повышению интенсивности отказов [7, 8].

Таким образом, для корректного расчета наработок каналов необходимо после каждого отказа проводить пересчет интенсивности отказов компонентов по формуле (2):

$$\lambda'_Э = \lambda_Э \frac{K'_p}{K_p}, \qquad (2)$$

где K'_p - текущая величина коэффициента электрической нагрузки канала, $\lambda_Э$, K_p - величина интенсивности отказов и коэффициента электрической нагрузки до отказа.

Рассмотрим для примера группу «Скользящее нагруженное резервирование» (см. рис. 1).

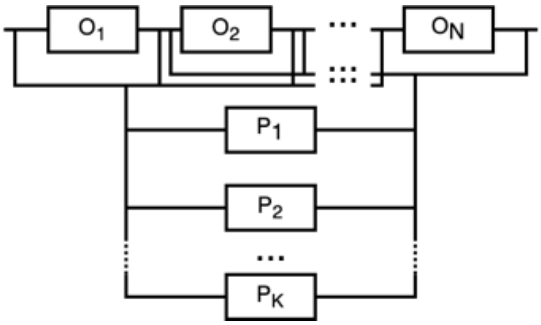

Рис. 1. Структурная схема надежности скользящего нагруженного резервирования

По определению при данном виде резервирования все каналы постоянно находятся в режиме работы [9]. Для скользящего нагруженного резервирования коэффициент K_p рассчитывается по формуле (3):

$$K_p = \frac{N}{N+R}, \qquad (3)$$

где N - количество основных каналов, R - количество резервных каналов.

Следовательно, при каждом отказе коэффициент K_p работоспособных каналов будет возрастать, пока не достигнет 1. Из (1) следует, что интенсивность отказов каналов также возрастает.

На рис. 2 приведен алгоритм учета коэффициента нагрузки при расчете наработки группы «Скользящее нагруженное резервирование».

Рис. 2. Алгоритм расчета наработки группы «Скользящее нагруженное резервирование»

Сначала необходимо определить количество основных и резервных каналов. Положим их равными N (основных) и R (резервных) соответственно (Блок 2 на рис. 2). Затем по формуле (3) вычисляется массив коэффициентов нагрузки (Блок 3), величины которых равны возможному количеству отказов (критерию отказа резервированной группы) - (R + 1) [10]. Далее происходит генерация наработок силовых каналов (Блок 4), после чего они сортируются по возрастанию (Блок 5).

Итоговая наработка с учетом изменения нагрузки вычисляется в Блоке 9 по формуле (4):

$$T_{\text{итог.}} = \frac{T_1}{K_{p(N+R)}} + \frac{\Delta T_2}{K_{p(N+R-1)}} + \cdots + \Delta T_{R+1}, \qquad (4)$$

где ΔT_i - величина отрезка времени между (i − 1)-м и -м отказами, $K_{p(N+R-i+1)}$ - коэффициент нагрузки при (N + R − i + 1) работающих каналах (очевидно, что K_{pN} = 1).

Электрическая нагрузка при смешанном резервировании

Для смешанного резервирования (см. рис. 3) резервные каналы (P_1 … P_K) находятся в режиме ожидания, следовательно, они никак не влияют на коэффициент K_p работающих каналов, который до отказа K каналов будет оставаться неизменным [11] (коэффициент K_p вычисляется по формуле (3) при R = 1).

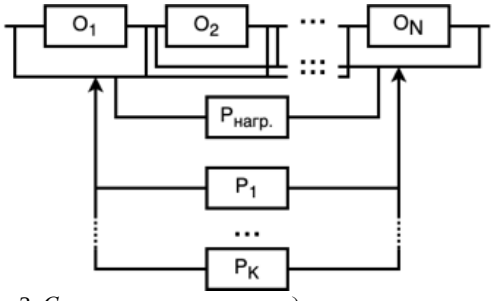

Рис. 3. Структурные схемы надежности смешанного резервирования вида «N+1+K»

После отказа K каналов схема преобразуется в скользящее нагруженное резервирование, а коэффициент также вычисляется по формуле (3).

В рамках разрабатываемой программы рассматривается смешанное резервирование с ротацией силовых каналов, поэтому необходимо определить зависимость коэффициента Kp от ротации. При ротации нет никакой разницы между основными и резервными каналами, так как все каналы находятся и в режиме работы, и в режиме ожидания в течение одинакового времени. Следовательно, при ротации силовых каналов коэффициент электрической нагрузки рассчитывается по формуле (5):

$$K_p = \frac{N+1}{N+1+K}, \qquad (5)$$

т.е. K_p возрастает при каждом отказе, пока не станет равным 1 (аналогично скользящему нагруженному резервированию).

Заключение

Величина электрической нагрузки является одним из важных факторов, влияющих на коэффициент интенсивности отказов каналов, независимо от вида их резервирования.

Список литературы

1. Четин А.Н. Методы повышения безотказности централизованной части системы вторичного электропитания аппаратуры вычислительной техники: дис. … канд. техн. наук. - М., 2018. - с. 157.
2. Лукина А.С., Целищев И.С. Учет отказов при ротации каналов в магистрально-модульных преобразователях напряжения. / XIV Международная отраслевая научно-техническая конференция «Технологии информационного общества» - М.: ИД Медиа Паблишер, 2020.
3. Жаднов В.В., Жаднов И.В., Полесский С.Н. Современные проблемы автоматизации расчётов надёжности. // Надёжность. - 2007. - № 2. - с. 3-12.
4. Жаднов В. В., Тихменев А. Н. Имитационное моделирование в задачах оценки надежности отказоустойчивых электронных средств. // Надёжность. - 2013. - № 1. - с. 32-43.
5. Жаднов В. В. Расчёт надёжности электронных модулей: научное издание. - М.: Солон-Пресс, 2016. - с. 232
6. Справочник «Надежность электроизделий» / - М.: МО РФ, 2006. - с. 641.
7. Баранов Л. А., Ермолин Ю. А. Надежность систем с периодической кусочно-постоянной интенсивностью отказов. // Электротехника. - 2017. - № 9. - с. 60-63.
8. M. Artyukhova, S. Polesskiy, V. Zhadnov. Current approaches to analysis of the project reliability of electronic devices of cyclic use. // Reliability: Theory & Applications. - 2015. - Vol. 10. - No. 3. - p. 20-31.
9. ГОСТ 27.301-95. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
10. Жаднов, В.В., Полесский С.Н. Разработка методов и средств для проектных исследований надежности радиоэлектронной аппаратуры. / Надёжность и качество: Труды международного симпозиума: в 2-х т. / Под ред. Н.К. Юркова. - Пенза: ПГУ, 2010 - 1 т. - с. 14.
11. Жаднов В.В. Модель преобразователя напряжения с ротацией силовых каналов для расчета его наработки до отказа при статистическом моделировании. / Труды Международного симпозиума НАДЕЖНОСТЬ И КАЧЕСТВО. - Т. 1. - Пенза: Издательство ПГУ, 2019. - с. 18-23.